

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-225166

(43)Date of publication of application : 14.08.2002

(51)Int.Cl.

B32B 5/28  
G01N 17/00  
G01N 27/20

(21)Application number : 2001-019973

(71)Applicant : FUJI HEAVY IND LTD

(22)Date of filing : 29.01.2001

(72)Inventor : NOMURA MASATO  
UMEKI KAZUNOBU  
OGISU TOSHIMITSU

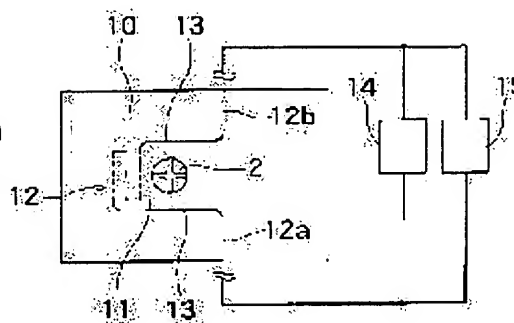
## (54) COMPOSITE MATERIAL AND METHOD FOR CONTROLLING DAMAGE TO COMPOSITE MATERIAL

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a method for controlling the damage to a composite material capable of suppressing the development of the ply separation of the composite material by generating the stress in the thickness direction of the composite material.

**SOLUTION:** The peripheral part of a hole 1 is stitched on the compression side 4 thereof by a shape memory alloy wire 12 to which permanent strain is applied, and the shape memory alloy wire 12 used in stitching is extended through the tensile stress concentrated side of the peripheral part of the hole and the extended shape memory alloy wire 12 is bonded to the tensile stress concentrated part 5 to obtain the composite material 10.

The composite material 10 is connected to a measuring instrument 14 and a heating power supply 15, and the damage generated in the composite material is detected by the shape memory alloy wire 12 bonded to the tensile stress concentrated part and a current is passed through the stitching part of the shape memory alloy wire 12 to which permanent strain is applied on the basis of the detection signal to heat the stitching part of the shape memory alloy wire 12.



**書誌**

---

- (19) 【発行国】 日本国特許庁 ( J P )  
(12) 【公報種別】 公開特許公報 ( A )  
(11) 【公開番号】 特開 2 0 0 2 - 2 2 5 1 6 6 ( P 2 0 0 2 - 2 2 5 1 6 6 A )  
(43) 【公開日】 平成 1 4 年 8 月 1 4 日 ( 2 0 0 2 . 8 . 1 4 )  
(54) 【発明の名称】 複合材および複合材の損傷制御方法  
(51) 【国際特許分類第 7 版】

B32B 5/28  
G01N 17/00  
27/20

**【 F I 】**

B32B 5/28            A  
G01N 17/00  
27/20                Z

【審査請求】 未請求

【請求項の数】 2

【出願形態】 O L

【全页数】 5

- (21) 【出願番号】 特願 2 0 0 1 - 1 9 9 7 3 ( P 2 0 0 1 - 1 9 9 7 3 )  
(22) 【出願日】 平成 1 3 年 1 月 2 9 日 ( 2 0 0 1 . 1 . 2 9 )  
(71) 【出願人】

【識別番号】 0 0 0 0 0 5 3 4 8

【氏名又は名称】 富士重工業株式会社

【住所又は居所】 東京都新宿区西新宿一丁目 7 番 2 号

(72) 【発明者】

【氏名】 野 村 正 人

【住所又は居所】 東京都新宿区西新宿一丁目 7 番 2 号 富士重工業株式会社内

(72) 【発明者】

【氏名】 梅 木 一 信

【住所又は居所】 東京都新宿区西新宿一丁目 7 番 2 号 富士重工業株式会社内

(72) 【発明者】

【氏名】 荻 巢 敏 充

【住所又は居所】 東京都新宿区西新宿一丁目 7 番 2 号 富士重工業株式会社内

(74) 【代理人】

【識別番号】 1 0 0 0 7 5 8 1 2

【弁理士】

【氏名又は名称】 吉武 賢次（外４名）

【テーマコード（参考）】

2G050

2G060

4F100

【Ｆターム（参考）】

2G050 AA02 BA12 EB02

2G060 AA10 AD04 AE01 AF07 EA06 EB06 GA03 HC07 HC18 HD01 KA11

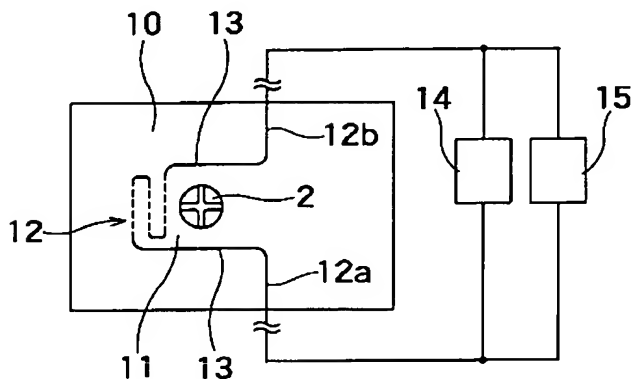
4F100 BA11 DH01A GB31 JB13A JK06

## 要約

### (57) 【要約】

【課題】 複合材の板厚方向の応力を発生させ、複合材の層間剥離の進展を抑制することができる複合材の損傷制御方法を提供する。

【解決手段】 孔１の周辺部の圧縮側４を永久歪みを与えられた形状記憶合金線で１２でステッチングし、ステッチングした形状記憶合金線１２を孔の周辺部の引張応力集中側を通して延長し、延長した形状記憶合金線１２を引張応力集中部分５に接着した複合材１０を、計測器１４および加熱用電源１５に接続し、複合材に発生する損傷を引張応力集中部分に接着した形状記憶合金線１２で検出し、この検出信号により電流を永久歪みを与えられた形状記憶合金線１２のステッチング部に通し、形状記憶合金線のステッチング部を加熱する。



## 請求の範囲

### 【特許請求の範囲】

【請求項１】 他部材と結合するために設けられた孔の周辺部で孔に挿通された固定手段によって伝達される負荷作用側を引張永久歪みを与えられた形状記憶合金線でステッチングし、ステッチングした形状記憶合金線の両端を孔の周辺部の引張応力集中側を通して延長し、延長した形状記憶合金線を引張応力集中部分に接着したことを特徴とする複合材。

【請求項 2】孔の周辺部で孔に挿通された固定手段によつて伝達される負荷の作用側を引張永久歪みが与えられた形状記憶合金線でステッチングし、ステッチングした形状記憶合金線を孔の周辺部の引張応力集中側を通して延長し、延長した形状記憶合金線を引張応力集中部分に接着し、さらに延長して計測器および加熱用電源に接続し、複合材に発生する損傷を引張応力集中部分に接着した形状記憶合金線の電気抵抗変化で検出し、この検出信号が発せられたとき、さらに多量の電流を永久歪みが与えられた形状記憶合金線に流し、形状記憶合金線のステッチング部を加熱することを特徴とする複合材の損傷制御方法。

## 詳細な説明

---

### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、チタン・ニッケル形状記憶合金を損傷センサーおよび損傷制御手段として持つ複合材およびその複合材の損傷制御方法に係り、詳しくは、複合材の層間剥離が発生し易いリベットやボルト結合部にチタン・ニッケル形状記憶合金を損傷センサーおよび損傷制御手段として有する複合材とその損傷制御方法に関する。

#### 【0002】

【従来の技術】航空機や高速車両に適用される複合材は、衝撃荷重に対して材料内部が損傷を受けやすいという性質を有するため、設計許容値を低く設定し、複合材本来の持つ強度を生かし切れないでいる。

【0003】複合材本来の強度を引き出すために、損傷を受けた部位を直ちに検知する試みとして、積層構造の複合材料にチタン・ニッケル形状記憶合金の細線を埋め込み、細線に電流を流し、マトリックス材料に亀裂や損傷が生じた際の細線の電流抵抗変化を検出することで、複合材料に生じた亀裂や損傷を検出する複合材料損傷検出システムは、特開平 8 - 15208 号公報に記載されている。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記公報に開示された技術手段は、複合材の平滑な表面にチタン・ニッケル形状記憶合金線を埋め込んだものであるが、複合材では、隣接する層と層が離れる剥離による損傷がほとんどであり、このような剥離を上記技術手段では検出できない。また損傷は、力が集中する箇所に、まず発生するものである。

【0005】本発明は、上記した点を考慮してなされたもので、応力の集中する部分における複合材の損傷検出とその損傷の発達を抑制する複合材および複合材の損傷制御方法を提供することを目的とする。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の複合材は、他部材と結合するために設けられた孔の周辺部で孔に挿通された固定手段によつて伝達される負荷作用側を引張永久歪みが与えられた形状記憶合金線でステッチングし、ステッチングした形状記憶合金線の両端を孔の周辺部の引張応力集中側を通して延長し、延長した形状記憶合金線を引張応力集中部分に接着して

構成され、重量の増加と構造の複雑化を抑制することができる。

【０００７】本発明の複合材の損傷制御方法は、孔の周辺部で孔に挿通された固定手段によって伝達される負荷の作用側を引張永久歪みを与えられた形状記憶合金線でステッチングし、ステッチングした形状記憶合金線を孔の周辺部の引張応力集中側を通して延長し、延長した形状記憶合金線を引張応力集中部分に接着し、さらに延長して計測器および加熱用電源に接続し、複合材に発生する損傷を引張応力集中部分に接着した形状記憶合金線の電気抵抗変化で検出し、この検出信号が発せられたとき、さらに多量の電流を永久歪みを与えられた形状記憶合金線に流し、形状記憶合金線のステッチング部を加熱することで、板厚方向の応力を発生させ、複合材の層間剥離の進展を抑制することができる。

【０００８】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。図 1 は、他部材と結合するために設けられた孔 1 にボルトまたはリベットの様な固定手段 2 を装着した複合材 3 を示す図である。

【０００９】複合材 3 を図 1 で矢印 A 方向に引張ると、複合材 3 の孔 1 の周辺領域は、引張りを受けた固定手段 2 によって伝達される負荷作用領域、すなわち孔 1 の周辺で力の作用線方向に圧縮による歪みが生じる圧縮領域 4 と、孔 1 の周辺で負荷の作用方向と直交する側の引張応力集中側、すなわち孔 1 の周辺で引張りによる歪みが生じる引張り領域 5 に分けられる。

【００１０】上記複合材 3 において、固定手段 2 によるフアスナ部分で面圧破壊が生じると、孔 1 の縁が固定手段 2 の反力により変形し、圧縮領域 4 から層間剥離が発生し進展する。多連固定手段の場合には、面圧破壊が生じると、その固定手段にかかる力が緩和され、引張り領域 5 の歪みも緩和されることになる。

【００１１】本発明の複合材 10 は、図 2 および図 3 に示すように、孔 1 の周辺で圧縮による歪みが生じる圧縮領域 4 に対応する部位 11 に、引張永久歪みを与えられた形状記憶合金線（チタン・ニッケル形状記憶合金線）12 でステッチングされている。ステッチングされた形状記憶合金線 12 の両端 12a, 12b は、孔の周辺部の引張り領域 5 に対応する部位 13 を通って延長し、延長した形状記憶合金線 12a, 12b は、引張り領域 5 に対応する引張応力集中部分において接着される。

【００１２】複合材 10 は、図 2 に示すように、両端部 12a, 12b に計測器 14 および加熱用電源 15 が並列に接続される。計測器 14 は、図示しない制御装置に接続される。制御装置は、計測器 14 から発する検出信号を受けて、加熱用電源 15 からの電流をステッチングした形状記憶合金線 12 に送る。

【００１３】引張永久歪みを与えられた形状記憶合金線 12 は、ステッチング部を加熱することで、収縮しようとして、複合材 10 の板厚方向の引っ張り力を発生させ、複合材 10 の層間剥離の進展が抑制される。

【００１４】つぎに、複合材 10 の成形方法を説明する。

【００１５】積層して成形される複合材の層間剥離の発生可能性が高い部分、たとえば、リ

ベット等に当接して繊維に平行な方向に圧縮力を受ける部分の周辺をチタン・ニッケル形状記憶合金線でステッチングし、最終的な配線状態に引き回しておく。この場合、形状記憶合金線に離型剤を塗布しておくことが好ましい。

【0016】成形は通常加熱して行われ、成形後、成形した複合材素材からステッチングした形状記憶合金線を強制的に引き抜き、さらに、形状記憶合金線の平面的に配置された部分を樹脂を剥がしながら取り出す。

【0017】つぎに、引き抜いた形状記憶合金線または別に用意した形状記憶合金線に常温下で所定の引張永久歪を与える。そして、引張永久歪が与えられた形状記憶合金線を複合材素材に形成された元のステッチング孔に戻す。この場合、形状記憶合金線に常温硬化形接着剤を塗布しておくことが好ましい。そして、形状記憶合金線をステッチングした後のステッチング孔に間隙を満たすように接着剤を充填する。

【0018】つぎに、複合材素材の元のステッチング孔に戻した形状記憶合金線の両端部を複合材素材の平面部の樹脂を剥がした部分に配線し、配線した形状記憶合金線を接着剤により複合材素材に接着固定する。このとき、特願平12-368774号に記載された表面処理を施すことが望ましい。

【0019】最後に、複合材素材の表面を元の状態に修復する。これにより、複合材10が成形される。

【0020】形状記憶合金線の複合材素材への別の設置方法を図4により説明する。

【0021】まず、下型20および治具21を準備する。下型20には、ステッチングされるべき形状記憶合金線のステッチング間隔に対応した細い孔22と、位置合わせ孔23とが設けられている。同様に、治具21には、下型20の孔22および位置合わせ孔23に対応した貫通孔24および位置合わせ孔25が設けられている。

【0022】つぎに、下型20の上にプリプレグ26を積層し、積層したプリプレグ26の上に治具21を配置する。治具21は、治具21の位置合わせ孔25が下型20に設けた位置合わせ孔23に一致するように下型20に整合される。

【0023】整合された下型20および治具21は、ノックピン27を治具21の上から位置合わせ孔25を通して下型20に設けた位置合わせ孔23に装着することによって結合される。

【0024】つぎに、ピン28を治具21の上から孔24および積層したプリプレグ26を通して下型20に設けた孔22に装着する。この場合、ピン28に離型剤を塗布しておくことが好ましい。ピン28が細くて剛性が足りずプリプレグ26を貫通して下型20の孔22に嵌合できない場合には、必要な剛性を備えた太いピンを通した後に、所定の太さのピン28を下型20に設けた孔22に装着する。この場合、下型20に設けた孔22に装着したピン28は、プリプレグ26からの突出長さを調節するために、治具21を取り外した後に所定長さに切断される。

【0025】積層したプリプレグ26の表面部に形状記憶合金線12を配線する場合、プリプレグ26の表面部の配線される形状記憶合金線12に対応する部位に離型剤を塗布してお

く。

【0026】積層したプリプレグ26を硬化させる際には、図5に示すように、積層したプリプレグ26の上に、プリプレグ26から突出するピン28を挿入できる長さの孔を所定位置に設けたコールプレート29を配置し、コールプレート29の孔にプリプレグ26から突出するピン28の突出部分を装着する。

【0027】積層したプリプレグ26は、バッグフィルム30により覆われ、真空引きされた後、樹脂を加熱硬化して複合材素材に成形される。

【0028】硬化された複合材素材は、コールプレート29を取り外し、ピン28を引き抜いた後、形状記憶合金線が剥がされる。

【0029】つぎに、ピン28を引き抜き形状記憶合金線を剥し複合材素材に形成された孔や溝の端部が整形処理され、複合材素材の整形された孔や溝に常温硬化型接着剤が充填され、所定の引張永久歪が与えられた形状記憶合金線が張力を加えた状態で配線される。このとき、前述したように、形状記憶合金線に表面処理を施すことが望ましい。

【0030】しかして、複合材10に配線された形状記憶合金線12をセンサあるいはアクチュエータとして作用させるには、図2に示すように、両端部12a, 12bに計測器14および加熱用電源15を接続し、形状記憶合金線12に微弱電流を流して、その抵抗値を計測器14によりモニタリングする。

【0031】図1に示すように、ボルト結合された部材に引張力が働くと、力の方向と直交するボルト横部5に集中応力が働き、形状記憶合金線12に引張り歪みが発生し、形状記憶合金線12の抵抗値が変化する。

【0032】複合材10に図6に示すような層間剥離が発生すると、図示しない他のボルトに引張り力が作用することになり、ボルト横部5の部分の歪みが小さくなり、形状記憶合金線12の抵抗値が変化する。この後、引張り力が増えても、抵抗値は変動するが、剥離のなかった時の値にならない。こうして、圧縮領域4に層間剥離が発生したことを検知することができる。

【0033】このとき、形状記憶合金線12を逆変態温度(約80℃)以上に加熱するような電流を形状記憶合金線12に流し、形状記憶合金線12が逆変態温度(約80℃)以上に加熱されると、図7に示すように、合金内に収縮しようとするとともに、合金のヤング率が2倍から3倍に増大し、複合材10の層と層とを締め付け合う力が増大し、複合材10の層間剥離が抑制される。

【0034】

【発明の効果】本発明の複合材は、他部材と結合するために設けられた孔の周辺部で孔に挿通された固定手段によつて伝達される負荷作用側を引張り永久歪みを与えられた形状記憶合金線でステッチングし、ステッチングした形状記憶合金線の両端を孔の周辺部の引張応力集中側を通して延長し、延長した形状記憶合金線を引張応力集中部分に接着したので、1つの部材でありながら、センサー機能とアクチュエータ機能を備えさせることができる。

【0035】本発明の複合材の損傷制御方法は、孔の周辺部で孔に挿通された固定手段によ

つて伝達される負荷の作用側を引張永久歪みを与えられた形状記憶合金線でステッチングし、ステッチングした形状記憶合金線を孔の周辺部の引張応力集中側を通して延長し、延長した形状記憶合金線を引張応力集中部分に接着し、さらに延長して計測器および加熱用電源に接続し、複合材に発生する損傷を引張応力集中部分に接着した形状記憶合金線の電気抵抗変化で検出し、この検出信号が発せられたとき、さらに多量の電流を永久歪みを与えられた形状記憶合金線に流し、形状記憶合金線のステッチング部を加熱することで、複合材の板厚方向の力を発生させ、複合材の層間剥離の進展を抑制することができる。

## 図の説明

### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 複合材の引張りにより孔の周辺に形成される圧縮領域と引張り領域を示す図。

【図 2】 本発明による複合材の使用状態を示す図。

【図 3】 図 2 の複合材の断面図。

【図 4】 本発明による複合材の製造方法の一例の第 1 段階を示す図。

【図 5】 本発明による複合材の製造方法の一例の第 2 段階を示す図。

【図 6】 複合材に層間剥離が発生した状態を示す図。

【図 7】 層間剥離した複合材の進展を抑制した状態を示す図。

### 【符号の説明】

4 圧縮領域

5 応力が集中する引張り領域

10 複合材

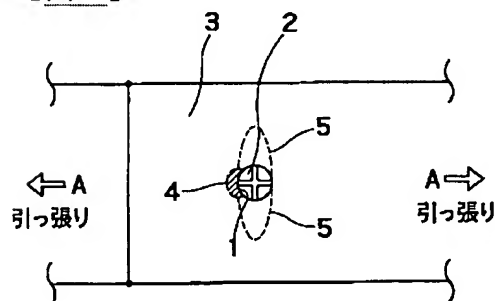
12 形状記憶合金線

14 計測器

15 加熱用電源

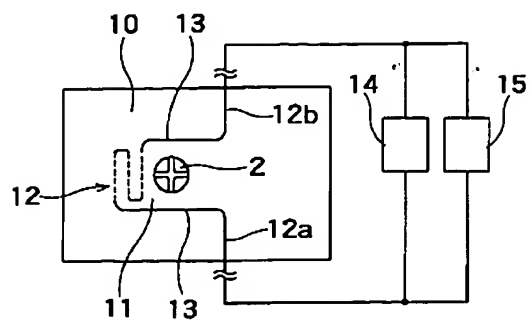
## 図面

### 【図 1】

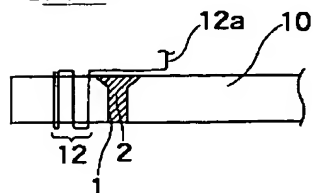


### 【図 2】

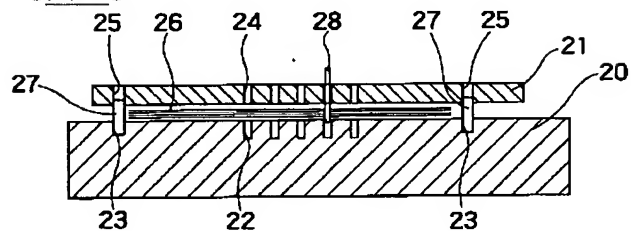




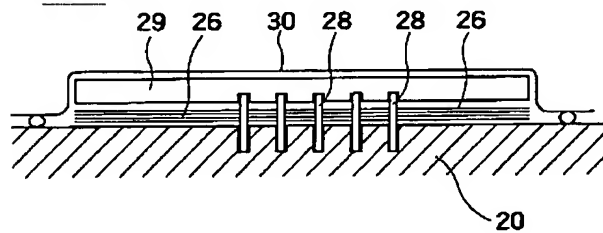
【図 3】



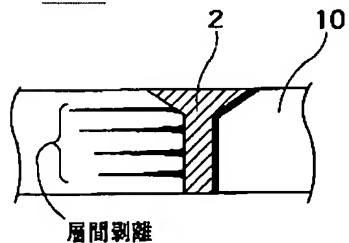
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【図 7】

